

## Beschreibung

Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen und hiermit korrespondierendes hierarchisches Mehrbussystem

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen, wobei jedes Bussystem mindestens eine Sendeeinheit und eine Empfangseinheit aufweist und wobei in jedem Bussystem einer Empfangseinheit von der Sendeeinheit zyklisch ausgesandte Synchronisationssignale übermittelt werden, sowie ein hiermit korrespondierendes hierarchisches Mehrbussystem.

10

15

Derartige Synchronisierverfahren für Bussysteme und die korrespondierenden Empfangseinheiten sind allgemein bekannt. Sie werden unter anderem in Feldbussystemen, z.B. dem PROFIBUS, oder anderen Bussystemen wie etwa dem Ethernet eingesetzt. Feldbussysteme sind verteilte Steuerungssysteme, die in der Regel eine Sendeeinheit (Kopfbaugruppe, Busmaster) und eine Vielzahl von Empfangseinheiten (Slaves) aufweisen. Die Ansteuerung der einzelnen Slavebaugruppen geschieht in der Regel dadurch, dass die Sendeeinheit den Empfangseinheiten ein Befehlstelegramm übermittelt. Bei Empfang des Befehlstelegramms geben die Empfangseinheiten Sollwerte an eine gesteuerte technische Anlage aus, die ihnen zuvor von der Sendeeinheit übermittelt worden sind. Gleichzeitig lesen sie Istwerte von der gesteuerten technischen Anlage ein, welche sie nachfolgend an die Sendeeinheit übermitteln. Die Sendeeinheit errechnet dann neue Sollwerte, die sie den einzelnen Empfangseinheiten übermittelt, so dass diese für das nächste Befehlstelegramm bereit sind.

25

30

35

Die Befehlstelegramme werden von der Sendeeinheit zeitlich äquidistant gesendet. Aus den Befehlstelegrammen sind daher Synchronisationssignale ableitbar, mittels derer die Empfangseinheiten mit der Sendeeinheit synchronisierbar sind.

Für eine Realisierung größerer vernetzter Systeme auf der Basis solcher Bussysteme oder Feldbussysteme ergibt sich häufig die Notwendigkeit einer Synchronisierung mehrerer separater Bussysteme. Dabei ist es erwünscht, auch unterschiedliche

- 5 Bussysteme miteinander zu kombinieren und damit auch zu synchronisieren.

Dabei kommt einer Hierarchisierung von Bussystemen große Bedeutung zu, z.B. im Rahmen eines dezentralen Antriebskonzeptes, wo in der Regel eine Steuerung, mehrere Antriebe sowie Leistungsteile miteinander kommunizieren müssen. Gerade im Bereich numerisch gesteuerter industrieller Bearbeitungsmaschinen, beispielsweise Werkzeugmaschinen und Roboter, mit einer Mehrzahl interpolierender Achsen ergibt sich die Anforderung einer durchgängigen Taktsynchronisation, bei Bedarf auch mit unterschiedlichen Bussystemen. Letzteres ist vor allem zur Erhöhung der Flexibilität und der Einsatzbreite wünschenswert.

- 10  
15  
20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es dementsprechend, ein Verfahren zur Synchronisation einer Mehrzahl von Bussystemen zu schaffen.

- 25 Gemäß der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass das eingangs geschilderte Verfahren nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs weitergebildet wird, indem jeder Sendeeinheit eines Bussystems ein, insbesondere gemeinsamer, zentraler Takt vorgegeben wird, aus dem jede Sendeeinheit autonom die jeweiligen Synchronisationssignale zur zyklischen Übermittlung an eine zugeordnete Empfangseinheit generiert.

- 30  
35 Durch eine solche Synchronisation zweier oder mehrerer Sendeeinheiten bzw. Busmaster zueinander wird unter anderem ein Parallelbetrieb von Bussen ermöglicht.

Die Sendeeinheiten werden von einem zentralen Takt gespeist. Gemäß des vorgegebenen Takts generiert jede Sendeeinheit die entsprechende Synchronisationsinformation mittels den erforderlichen Telegrammen auf dem jeweiligen Bus. Dieses Prinzip ist unabhängig vom jeweiligen Bussystem, so dass sowohl gleiche Bussysteme als auch verschiedene Bussysteme synchron zueinander betrieben werden können.

In der Praxis verbleibt zwischen dem Übermitteln der eingelesenen Istwerte an die Sendeeinheit und dem Übermitteln der Sollwerte an die Empfangseinheiten einerseits und dem Übermitteln des nächsten Befehlstelegramms andererseits ein zeitlicher Spielraum. Dieser wird in der Regel für sogenannte azyklische Telegramme genutzt. Hierbei kann es geschehen, dass aufgrund von Verzögerungen durch die azyklischen Telegramme einzelne Befehlstelegramme verspätet gesendet werden. Der Empfang derart verspätet gesendeter Befehlstelegramme bewirkt eine fehlerhafte Nachsynchronisation der Empfangseinheiten. Zu deren Vermeidung ist es bekannt, einen Phasenregler einer phasenverriegelten Schleife vorzusehen.

Dabei führt eine Empfangseinheit eines Bussystems die Synchronisationssignale dem Phasenregler einer phasenverriegelten Schleife mit einem Taktgeber zu, wobei der Phasenregler beim Empfang der Synchronisationssignale momentane Phasenfehler ermittelt und den Taktgeber derart nachregelt, dass der Taktgeber zwischen zwei Synchronisationssignalen eine Sollanzahl von Taktsignalen ausgibt (vgl. DE 19932635.5, deren Offenbarung hiermit durch Bezugnahme eingeschlossen wird).

Es hat sich gemäß der vorliegenden Erfindung nun als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn die über die erwähnte phasenverriegelte Schleife generierte Sollanzahl von Taktsignalen allen Sendeeinheiten der Bussysteme als zentraler Takt vorgegeben wird.

Wenn diese Sollanzahl von Taktsignalen einer Sendeeinheit eines anderen Bussystems als zentraler Takt vorgegeben wird, so lässt sich auf besonders einfache und effektive Weise eine Hierarchisierung von Bussystemen erzielen.

5

Damit wird eine Synchronisation einer Sendeeinheit bzw. eines Busmasters auf eine Empfangseinheit bzw. einen Busslave und damit die gewünschte Hierarchisierung von Bussen ermöglicht. Eine Empfangseinheit an einem Bus empfängt die Synchronisationsinformation. Mittels einer phasenverriegelten Schleife wird diese Taktinformation gefiltert und werden fehlende Takte (z.B. durch Telegrammzerstörung auf dem Bus) regeneriert. Dieser nun „saubere“ Takt wird wiederum zu einer Sendeeinheit bzw. einem Busmaster eines anderen Busses geführt, welcher die entsprechende Taktinformation mittels den erforderlichen Telegrammen auf dem jeweiligen Bus generiert. Diese Prinzip ist wiederum unabhängig vom jeweiligen Bussystem, so dass sowohl mehrere gleiche Busse oder auch verschiedene Bussysteme hierarchisch synchron zueinander betrieben werden können.

10

15

20

Um eine hinreichende Genauigkeit der Synchronisierung einer Empfangseinheit mit der Sendeeinheit eines anderen Bussystems zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass der Phasenregler die momentanen Phasenfehler zu einem Integrationswert aufintegriert und dass der Integrationswert zu einem Integrationsbruchteil ausgeregelt wird, wobei der Integrationsbruchteil kleiner als eins ist.

25

30

Um einen Betrieb verschiedener Bussysteme mit unterschiedlichen Taktperioden zu ermöglichen, hat es sich als günstig herausgestellt, wenn vor der Ansteuerung einer Sendeeinheit mit einem zentralen Takt eine Taktteilung erfolgt.

35

Alternativ wird vor der Ansteuerung einer Sendeeinheit mit einem zentralen Takt eine Frequenzvervielfachung vorgenommen, insbesondere innerhalb der phasenverriegelten Schleife.

Wird erfindungsgemäß zwischen den die jeweilige Sendeeinheit bzw. den jeweiligen Busmaster speisenden Takt und den eigentlichen Busmaster ein Taktteiler eingebaut, so können die jeweils betrachteten Bussysteme auch mit unterschiedlichen Bus-taktperiodendauern betrieben werden und trotzdem dabei synchron sein. Durch die Taktteilung können nur niederfrequente Taktperiodendauern in den jeweiligen nachgeschalteten Busmaster eingespeist werden.

10 Da die oben beschriebene phasenverriegelte Schleife (PLL) jedoch auch höherfrequentere Takte als den von der PLL ursprünglich empfangenen Takt erzeugen kann, ist es somit auch möglich höherfrequentere Takte in den jeweiligen nachgeschalteten Busmaster bzw. die Sendeeinheit einzuspeisen.

15 Weiter hat es sich als günstig erwiesen, für eine Kompensation von Laufzeiteffekten bei der Synchronisation den jeweiligen von der phasenverriegelten Schleife generierten zentralen Takt um die Laufzeit eines empfangenen Takttelegramms verfrüht vorzugeben.

Der Taktzeitpunkt eines Takttelegramms stellt das Telegrammende dar, da erst nach vollständigem Empfang eines Telegramms dieses als solches decodiert werden kann. Die von der PLL erzeugten Takte sind dann synchron zu diesem Takttelegrammende. Soll nun ein Takttelegramm synchron zu den empfangenen Takttelegrammen bzw. der PLL abgesendet werden, so kann dieses um die Laufzeit des Takttelegramms verfrüht geschehen, damit das Takttelegrammende zeitlich mit dem Telegrammende eines empfangenen Takttelegramms bzw. mit den von der PLL erzeugten Takten zusammenfällt. Auf diese Weise können z.B. bei hierarchischen Bussystemen Busmaster/ Sendeeinheit und Busslave/Empfangseinheit ohne Phasenverschiebung zueinander betrieben werden.

35

Zur hierarchischen Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen werden demnach vorteilhafterweise mehrere phasenverriegelte Schleifen mehrerer Bussysteme kaskadiert.

- 5 Dabei hat es sich als günstig erwiesen, wenn zur Vermeidung von Schwingungen der phasenverriegelten Schleifen der Frequenzgang jeder phasenverriegelten Schleife eine Verstärkung kleiner oder gleich eins aufweist.

- 10 Mit dem vorangehend dargestellten erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich somit eine Synchronisation unterschiedlicher Bussysteme erreichen, wobei auch eine Taktsynchronisation trotz verschiedener Bussysteme möglich ist. Dadurch wird gegenüber bekannten Konzepten eine höhere Flexibilität sowie Erhöhung der Einsatzbreite mit durchgängiger Taktsynchronisation erreicht.

- 15 Diese Flexibilität wird weiter erhöht durch unterschiedliche, aber synchrone Bustaktperiodendauern (z.B. einem Antriebsbus mit hohen Anforderungen und einem anderen Bus für einfache Peripherie mit niedrigen Anforderungen bezüglich Reaktionszeiten/Bustaktperiodendauer/Dynamik usw.). Ein Performance-Verlust durch mögliche Laufzeiteffekte der Takttelegramme kann ebenfalls vermieden werden.

- 20  
25 Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich anhand des folgenden vorteilhaften Ausführungsbeispiels und in Verbindung mit den Figuren. Dabei sind Elemente mit gleicher Funktionalität mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Es zeigen:

- 30  
FIG 1 ein Blockschaltbild eines verteilten Steuerungssystems,  
FIG 2 ein Blockschaltbild zweier synchronisierter Bussysteme zur Darstellung der topologischen Verhältnisse,  
35 FIG 3 ein Blockschaltbild einer phasenverriegelten Schleife und  
FIG 4 ein Zeitdiagramm der Laufzeitkompensation.

Gemäß FIG 1 weist ein verteiltes Steuerungssystem eine Sendeeinheit 1 und Empfangseinheiten 2 auf, die über ein Bussystem 3 miteinander verbunden sind. Die Sendeeinheit 1 sendet zyklisch Telegramme an die Empfangseinheiten 2, welche entsprechend auf die empfangenen Telegramme reagieren. Beispielsweise lesen die Empfangseinheiten 2 von einer gesteuerten technischen Anlage bzw. Applikation 4 Eingangsgrößen ein und geben Ausgangsgrößen an die technische Anlage bzw. Applikation 4 aus. Dies ist in FIG 1 durch die Pfeile zwischen den Empfangseinheiten 2 und der technischen Anlage/Applikation 4 angedeutet.

Die Kommunikation zwischen der Sendeeinheit 1 und den Empfangseinheiten 2 erfolgt in der Regel nach folgendem, zyklisch abgearbeiteten Schema:

Zunächst übermittelt die Sendeeinheit 1 den Empfangseinheiten 2 Ausgangsgrößen, die an die technische Anlage/Applikation 4 ausgegeben werden sollen. Dann übermittelt sie ein Befehlstelegramm an die Empfangseinheiten 2. Bei Übermittlung des Befehlstelegramms geben die Empfangseinheiten 2 die Ausgangsgrößen an die technische Anlage 4 aus und lesen Eingangsgrößen von der technischen Anlage 4 ein. Sodann werden die eingelesenen Eingangsgrößen von der Sendeeinheit 1 abgefragt.

Im Idealfall wird das obenstehende Schema streng zyklisch und zeitlich streng äquidistant abgearbeitet. Insbesondere die Befehlstelegramme können daher als Synchronisationssignale S verwendet werden bzw. aus den Befehlstelegrammen Synchronisationssignale S abgeleitet werden. Mittels der Synchronisationssignale S können sich dann die Empfangseinheiten 2 mit der Sendeeinheit 1 synchronisieren.

In der Darstellung nach FIG 2 ist die topologische Anordnung einer vorteilhaften Verschaltung dreier verschiedener Bussysteme 3, 3' und 3'' gezeigt, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren miteinander synchronisiert werden. Während an dem

Bus 3 eine angeschlossene Empfangseinheit/Slave 2 gezeigt ist, die von dem Bus 3 Synchronisationssignale S einer (nicht gezeigten) Sendeeinheit/ Busmaster empfängt, ist für den zweiten Bus 3' eine Sendeeinheit/Busmaster 1' gezeigt, welche

- 5 Synchronisationssignale S' an den zweiten Bus 3' sendet. Das gleiche tut eine Sendeeinheit/Busmaster 1'' für den dritten Bus 3''.

Es handelt sich demnach um den Fall einer Hierarchisierung von

- 10 Bussystemen nach der Erfindung. Ohne eine erfindungsgemäße Synchronisierung können die jeweiligen Synchronisationssignale S, S' und S'' sehr unterschiedliche Periodendauern besitzen.

Zur Synchronisierung werden nun die Sendeeinheiten/Busmaster 1' und 1'' von Bus 3' und 3'' auf den Takt der Empfangseinheit/Slave 2 von Bus 3 synchronisiert. Dazu wird aus dem Synchronisationssignal S über eine phasenverriegelte Schleife 6 ein zentraler Takt Z\* generiert, mit dem beide Bussysteme

- 20 3' und 3'' beaufschlagt werden.

Dieser zentrale Takt Z\* kann direkt oder über optionale jeweilige Frequenzteiler 15', 15'' zur Ansteuerung der jeweiligen Sendeeinheiten/Busmaster 1', 1'' der Bussysteme 3', 3''

- 25 dienen. Die Frequenzteiler 15', 15'' können unterschiedlichen Teilungsverhältnisse n', n'' haben, so dass die beiden Busse 3', 3'' auch mit unterschiedlichen Busperiodendauern synchron betrieben werden können. Außer einer Taktteilung kommt auch eine Frequenzvervielfachung ( $n', n'' > 1$ ) in Frage, die vor
- 30 allem über die im folgenden zu erläuternde phasenverriegelte Schleife (PLL) erzeugbar sind. Damit ist es auch möglich, höherfrequente Takte in die jeweilige nachgeschaltete Sendeeinheit/Busmaster einzuspeisen.

- 35 Die von einer Empfangseinheit/Slave 2 empfangenen Synchronisationssignale werden gemäß FIG 3 über einen Busanschlussbaustein einem Phasenregler 5 einer phasenverriegelten Schleife



6 zugeführt. Die phasenverriegelte Schleife 6 weist einen Taktgeber 7 auf. Innerhalb des Taktgebers 7 erzeugt ein Taktgenerator 8 Primärtaktsignale, die einem Frequenzteiler 9 zugeführt werden. Ausgangsseitig gibt der Frequenzteiler 9 die heruntergeteilten Primärtaktsignale als Taktsignale aus. Die Taktsignale werden einem Taktsignalzähler 10 zugeführt.

Bei idealer Regelung des Taktgenerators 8 gibt der Taktgeber 7 zwischen zwei Synchronisationssignalen S exakt eine Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen aus. In der Regel gibt der Taktgeber 7 aber eine Anzahl  $Z$  von Taktsignalen aus, welche von der Sollanzahl  $Z^*$  abweicht. Der Phasenregler 5 ermittelt daher beim Empfang der Synchronisationssignale momentane Phasenfehler  $E$  und regelt dann den Taktgeber 7 derart nach, dass er zwischen zwei Synchronisationssignalen S die Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen ausgibt. Dies geschieht wie folgt:

Vor Beginn der Synchronisation, also vor der Ermittlung des ersten momentanen Phasenfehlers  $E$ , wird zunächst von einer Steuereinheit 11 einer Ansteuereinheit 12 ein Startsignal vorgegeben. Diese steuert daraufhin den Taktgenerator 8 des Taktgebers 7 an. Wenn der Taktsignalzähler 10 die Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen gezählt hat, übermittelt der Taktsignalzähler 10 ein Signal an die Ansteuereinheit 12. Diese hält daraufhin den Taktgenerator 8 wieder an. Die phasenverriegelte Schleife 6 ist dadurch sozusagen „vorgespannt“. Beim Empfang des nächsten Synchronisationssignals, das ebenfalls an die Ansteuereinheit 12 übermittelt wird, startet diese dann den Taktgenerator 8 wieder. Dadurch wird der Taktsignalzähler 10 neu hochgezählt,

Das Erreichen der Sollanzahl  $Z^*$  sowie das Eintreffen des nächsten Synchronisationssignals S wird an einen Primärtaktzähler 13 gemeldet. Beim Eintreffen des ersten dieser beiden Signale wird der Primärtaktzähler 13 gestartet, beim Eintreffen des zweiten der beiden Signale gestoppt. Der (vorzeichenbehaftete) Zählerstand des Primärtaktzählers 13 ist

somit ein direktes Maß für den Fehler zwischen der Taktung des Taktgebers 7 und der Periodizität der Synchronisationssignale S.

- 5 Beim Empfang des ersten Synchronisationssignals S nach dem Wiederstarten des Taktgebers 7 wird der Zählerstand des Primärtaktzählers 13 an die Steuereinheit 11 übermittelt. Diese errechnet daraus einen Korrekturwert für die Ansteuerung des Taktgenerators 8 und gibt diesen Korrekturwert direkt dem  
10 Phasenregler 5 vor. Dadurch wird der beim ersten Synchronisationszyklus detektierte momentane Phasenfehler E zumindest im wesentlichen ausgeregelt.

- 15 In den weiteren Synchronisationszyklen wird der Primärtaktzähler 13 stets in Abhängigkeit vom Synchronisationssignal S und dem Erreichen der Sollanzahl  $Z^*$  gesteuert. Beim Eintreffen des ersten dieser beiden Signale wird der Primärtaktzähler 13 gestartet und beim Eintreffen des zweiten dieser beiden Signale gestoppt. Der Zählerstand des Primärtaktzählers  
20 13 wird einem Vergleicher 14 zugeführt.

- Der Zählerstand des Primärtaktzählers 13 wird betragsmäßig mit einem Maximalfehler verglichen. Wenn der Zählerstand den Maximalfehler übersteigt, wird ein Auszeitzähler 15 hochge-  
25 zählt. In diesem Fall wird an den Phasenregler 5 kein Fehler-signal ausgegeben. Der Phasenregler 5 behält sein bisheriges Ausgangssignal bei.

- 30 In der Regel wird der Primärtaktzähler 13 bei jeder Übermittlung eines Synchronisationssignals S gestartet bzw. gestoppt. Es ist aber auch möglich, der phasenverriegelten Schleife 6 zusätzlich von der Steuereinheit 11 ein Gültigkeitssignal G zu übermitteln. In diesem Fall wird der Primärtaktzähler 13 nur dann gestartet und gestoppt, wenn das Gültigkeitssignal G  
35 anliegt. Es ist ferner möglich, den Primärtaktzähler 13 um einen Phasenversatz bezüglich des Synchronisationssignals S versetzt zu starten und auszuwerten. Letzteres ist vorteil-

haft im Hinblick auf die oben beschriebene Kompensation von Laufzeiteffekten (vgl. auch FIG 4).

Vorteilhaft für den Aufbau von hierarchischen Bussystemen - wie in FIG 2 gezeigt - ist eine Änderung der Regelparameter der phasenverriegelten Schleife 6 der Art, dass der Frequenzgang der PLL 6 möglichst keine oder eine Verstärkung kleiner 1, allenfalls jedoch nur geringe Verstärkungen größer als 1 besitzt. Dies ist nötig, damit bei der Hierarchisierung von Bussystemen der Gesamtfrequenzgang von mehreren in Serie geschalteten PLL's 6 keine ausgeprägte Resonanzfrequenz besitzt, bei der die PLL's 6 leicht zum Schwingen angeregt werden könnten.

Gemäß FIG 2 ist es prinzipiell auch möglich, die beiden Bussysteme 3', 3'' ohne eine Hierarchisierung parallel zu betreiben, indem eine starre Ausgangstaktsignalerzeugung ohne Synchronisation auf eine Bus-Empfangeinheit 2 erfolgt. Die PLL 6 fungiert dann als autonomer Taktgenerator zur Erzeugung eines gemeinsamen zentralen Taktes Z\*.

Soll das Takttelegramm synchron zu den empfangenen Takttelegrammen bzw. der PLL 6 abgesendet werden, so kann dieses um die Laufzeit des Takttelegramms verfrüht geschehen. Dieser Zusammenhang ist in der Darstellung nach FIG 4 veranschaulicht.

Gezeigt ist ein empfangenes Takttelegramm S, welches zum Taktzeitpunkt t komplett empfangen ist. Erst zu diesem Zeitpunkt kann das Takttelegramm decodiert werden. Damit das Takttelegrammende eines zentralen Taktes Z\* zeitlich mit dem Telegrammende eines empfangenen Takttelegramms S bzw. mit den von der PLL 6 erzeugten Takten zusammenfällt, wird nun das Takttelegramm des zentralen Taktes Z\* um eine definierte Zeit x, vorteilhaft die Laufzeit des empfangenen Takttelegramms, verfrüht abgesandt. Dadurch werden Laufzeiteffekte bei der Synchronisation verschiedener Bussysteme vermieden und es

können bei hierarchischen Bussystemen Sendeeinheiten/ Busmaster und Empfangseinheit/Busslave ohne Phasenverschiebung zueinander synchron betrieben werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen (3',3''),

- 5 - wobei jedes Bussystem (3',3'') mindestens eine Sendeeinheit (1',1'') und eine Empfangseinheit (2) aufweist,  
- wobei in jedem Bussystem (3',3'') einer Empfangseinheit (2) von der zugehörigen Sendeeinheit zyklisch ausgesandte Synchronisationssignale (S) übermittelt werden,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jeder Sendeeinheit (1',1'') eines Bussystems (3',3'') ein, insbesondere gemeinsamer, zentraler Takt (Z\*) vorgegeben wird, aus dem jede Sendeeinheit (1',1'') autonom die jeweiligen Synchronisationssignale (S',S'') zur zyklischen Übermittlung an  
15 eine zugeordnete Empfangseinheit generiert.

2. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach Anspruch 1,

- wobei eine Empfangseinheit (2) eines Bussystems (3) die Synchronisationssignale (S) einem Phasenregler (5) einer phasenverriegelten Schleife (6) mit einem Taktgeber (7) zu-  
20 führt,

- wobei der Phasenregler (5) beim Empfang der Synchronisationssignale (S) momentane Phasenfehler (E) ermittelt und den  
25 Taktgeber (7) derart nachregelt, dass der Taktgeber (7) zwischen zwei Synchronisationssignalen (S) eine Sollanzahl (Z\*) von Taktsignalen ausgibt,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass diese Sollanzahl (Z\*) von Taktsignalen allen Sendeeinheiten

30 (1',1'') der Bussysteme (3',3'') als zentraler Takt vorgegeben wird.

3. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach Anspruch 1,

- 35 - wobei eine Empfangseinheit (2) eines ersten Bussystems (3) die Synchronisationssignale (S) einem Phasenregler (5) ei-

ner phasenverriegelten Schleife (6) mit einem Taktgeber (7) zuführt,

- wobei der Phasenregler (5) beim Empfang der Synchronisationssignale (S) momentane Phasenfehler (E) ermittelt und den Taktgeber (7) derart nachregelt, dass der Taktgeber (7) zwischen zwei Synchronisationssignalen (S) eine Sollanzahl ( $Z^*$ ) von Taktsignalen ausgibt,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass diese Sollanzahl ( $Z^*$ ) von Taktsignalen einer Sendeeinheit ( $1', 1''$ ) eines anderen Bussystems ( $3', 3''$ ) als zentraler Takt vorgegeben wird.

4. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach Anspruch 2 oder 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Phasenregler (5) die momentanen Phasenfehler (E) zu einem Integrationswert aufintegriert und dass der Integrationswert zu einem Integrationsbruchteil ausgeregelt wird, wobei der Integrationsbruchteil kleiner als eins ist.

5. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass vor der Ansteuerung einer Sendeeinheit ( $1', 1''$ ) mit einem zentralen Takt ( $Z^*$ ) eine Taktteilung ( $15', 15''$ ) erfolgt.

6. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach Anspruch 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass vor der Ansteuerung einer Sendeeinheit ( $1', 1''$ ) mit einem zentralen Takt ( $Z^*$ ) eine Frequenzvervielfachung erfolgt, insbesondere innerhalb der phasenverriegelten Schleife (6).

7. Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei das Telegrammende eines Takttelegramms den jeweiligen Taktzeitpunkt (t) darstellt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der jeweilige von der phasenverriegelten Schleife generierte zentrale Takt ( $Z^*$ ) um die Laufzeit ( $x$ ) eines empfangenen Takttelegramms verfrüht vorgegeben wird.

- 5 8. Verfahren zur hierarchischen Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere phasenverriegelte Schleifen mehrerer Bussysteme kaskadiert werden.

10

9. Verfahren zur hierarchischen Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzgang jeder phasenverriegelten Schleife (6) eine Verstärkung  
15 kleiner oder gleich eins aufweist.

10. Hierarchisches Mehrbussystem mit einer Synchronisierung nach einem der vorangehenden Ansprüche.

## Zusammenfassung

Verfahren zur Synchronisierung einer Mehrzahl von Bussystemen und hiermit korrespondierendes hierarchisches Mehrbussystem

5

Durch Synchronisation eines Busmasters auf einen Busslave wird die gewünschte Hierarchisierung von Bussen ermöglicht, indem ein Busslave (2) an einem Bus (3) die Synchronisationsinformation (S) eines zugeordneten Busmasters empfängt.

10

Mittels einer PLL (6) wird diese Taktinformation gefiltert und werden fehlende Takte regeneriert. Dieser nun „saubere“ Takt (Z\*) wird zu einem oder mehreren parallelen Busmastern

(1',1'') anderer Busse (3',3'') geführt, welche die entsprechende Taktinformation (S',S'') mittels den erforder-

15

lichen Telegrammen auf dem jeweiligen Bus generieren. Dieses Prinzip ist unabhängig vom jeweiligen Bussystem, so dass sowohl mehrere gleiche Busse oder auch verschiedene Bussysteme hierarchisch synchron zueinander betrieben werden können.

20 FIG 2